

OZ 01014

- 1 -

### **Vielschichtaktor mit versetzt angeordneten Kontaktflächen gleich gepolter Innenelektroden für ihre Außenelektrode**

Die Erfindung betrifft einen piezokeramischen Vielschichtaktor entsprechend dem Oberbegriff des ersten Anspruchs sowie ein Verfahren zu seiner Herstellung.

- 5 In Figur 1 ist ein piezokeramischer Vielschichtaktor 1 nach dem Stand der Technik schematisch dargestellt. Diese Aktoren weisen eine Interdigitalstruktur auf. Sie werden als Monolithen hergestellt, das heißt, sie bestehen aus gestapelten dünnen Schichten 2 piezoelektrisch aktiven Materials, beispielsweise Blei-Zirkonat-Titanat (PZT), mit dazwischen angeordneten leitfähigen Innenelektroden 7, die alternierend an die
- 10 Aktoroberfläche geführt werden. Das aktive Material wird als sogenannte Grün-Folie vor dem Sintern durch ein Siebdruckverfahren mit Innenelektroden 7 versehen, zu einem Stapel verpresst, pyrolysiert und dann gesintert, wodurch ein monolithischer Vielschichtaktor 1 entsteht.

- Außenelektroden 3, 4 verbinden die Innenelektroden 7. Dadurch werden die
- 15 Innenelektroden 7 jeweils auf einer Seite des Aktors 1 elektrisch parallel geschaltet und so zu einer Gruppe zusammengefasst. Die Außenelektroden 3, 4 sind die Anschlusspole des Aktors. Wird über die Anschlüsse 5 eine elektrische Spannung an die Anschlusspole gelegt, so wird diese auf alle Innenelektroden 7 parallel übertragen und verursacht ein elektrisches Feld in allen Schichten des aktiven Materials, das sich
- 20 dadurch mechanisch verformt. Die Summe aller dieser mechanischen Verformungen steht an den Endflächen des Aktors als nutzbare Dehnung 6 und/oder Kraft zur Verfügung, beispielsweise zur Steuerung eines Einspritzventils bei Verbrennungsmotoren.

- Bei Aktoren nach dem Stand der Technik ist es bekannt, dass in dem inaktiven
- 25 Bereich, der zur Kontaktierung benötigt wird, Dehnungsinhomogenitäten auftreten. Diese verursachen in dem piezoelektrisch inaktiven Elektrodenbereich Risse, die in regelmäßigen Abständen auftreten können. Dieser Zustand ist in Figur 1 dargestellt.

OZ 01014

- 2 -

Durch die Dehnungsinhomogenitäten summieren sich die Spannungen in den passiv gedehnten Bereichen bis zu einer Höhe, bei der sie sich durch Rissbildung entlasten. Die Risse 8 haben in der Regel Abstände von mehr als einem Millimeter bei Dehnungen von etwa 1 bis 2  $\mu\text{m}/\text{mm}$ . Diese Risse 8 enden im sogenannten aktiven Bereich des Aktors, der die Dehnung erzeugt, weil hier nur Druckspannungen auftreten.

Die Risse können für einige Anwendungen toleriert werden. Es ergeben sich jedoch grundsätzliche Probleme. Wenn der Aktor nicht vollständig gekapselt ist, treten an den durch die Risse freigelegten Elektrodenenden elektrische Felder auf, die zur Anlagerung von Wasser oder polaren Molekülen führen können. Diese verursachen Leckströme oder führen zu einer verstärkten Degradation des Aktorverhaltens. Es ist außerdem nicht vollständig auszuschließen, dass die Aktoren, durch die Risse vorgeschädigt, aufgrund von Ausbrüchen während des Betriebs versagen. Weiterhin werden die Außenelektroden im Bereich der Risse besonders beansprucht und reißen oder lösen sich ab. Ein Versagen der Außenelektrode führt zu einem totalen Versagen eines Aktors.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Ursachen für das Auftreten von rissbildenden Spannungen weitestgehend zu beseitigen.

Die Lösung der Aufgabe erfolgt vorrichtungsgemäß mit Hilfe der kennzeichnenden Merkmale des ersten, verfahrensgemäß mit Hilfe des siebzehnten Anspruchs. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen beansprucht.

Ein erfindungsgemäßer Vielschichtaktor unterscheidet sich von Aktoren nach dem Stand der Technik dadurch, dass die mit ihrer Aussenelektrode zu kontaktierenden Flächen gleich gepolter Innenelektroden nicht in gerader Richtung übereinander liegen. Die Innenelektroden des erfindungsgemäßen Vielschichtaktors weisen einen von ihrer Grundfläche abgegrenzten, zungenförmigen, nach außen weisenden

OZ 01014

- 3 -

Kontaktbereich auf. Die Stirnseiten dieser Kontaktbereiche sind die Kontaktflächen. Nur diese Kontaktflächen reichen an die Oberfläche des Aktors und werden an die jeweiligen Aussenelektrode zur Verbindung der gleich gepolten Innenelektroden angeschlossen. Durch die beschriebene Formgebung der Innenelektroden entsteht im zungenförmigen Kontaktbereich ein inaktiver Bereich mit einer vorgebbaren Breite. Die Kontaktflächen und damit die ihnen zugeordneten inaktiven Bereiche einer oder einer vorgegebenen Anzahl in gleicher Richtung übereinander angeordneter, gleich gepolter Innenelektroden sind gegenüber den Kontaktflächen und damit den diesen zugeordneten inaktiven Bereichen der vorhergehenden Innenelektrode oder einer vorgegebenen Anzahl gleich ausgerichteter vorhergehender Innenelektroden gleicher Polung um einen vorgegebenen Winkel  $\alpha$  versetzt angeordnet. Hierdurch entstehen inaktive Bereiche, die passiv gedehnt werden.

Die zu kontaktierenden Flächen der Innenelektroden gleicher Polung und die inaktiven Bereiche werden also entsprechend der Erfindung in regelmäßigen Abständen um einen vorgebbaren Winkel versetzt angeordnet. Der Vorteil gegenüber dem Stand der Technik ist, dass sich die Spannungen in den inaktiven Bereichen nicht mehr zu einer solchen Höhe summieren können, dass Risse entstehen.

Nach einer vorgegebenen Höhe die sich nach der Größe der in diesem Bereich auftretenden Spannungen richtet, sollte der Versatz als ein Vielfaches des Winkels  $\alpha$  so groß sein, dass sich mindestens die Kontaktflächen der ersten und der letzten der gleich gepolten Innenelektroden in diesem Bereich nicht mehr überlappen. Dadurch wird die kritische Distanz überwunden, in der sich Risse bilden. Ein solcher Versatz einer vorgegebenen Höhe kann in einem Vielschichtaktor, je nach dessen Größe, mehrfach hintereinander vorgesehen werden und kann bereits etwa alle 0,5 mm abgeschlossen sein, sollte aber, in Abhängigkeit von der Aktorgröße, spätestens nach etwa 3 mm abgeschlossen sein, damit die Wirkung des Spannungsabbaus eintreten kann. Ein vorteilhafter Bereich liegt etwa zwischen 1 mm und 1,5 mm.

OZ 01014

- 4 -

Die Dicke einer Lage, das ist die Dicke der piezokeramischen Schicht und die Dicke der Innenelektrode, beträgt in der Regel 100 µm, das sind 0,1 mm. Der Versatz, bei dem sich die Kontaktflächen oder die inaktiven Bereiche nicht mehr überdecken, kann bereits nach etwa fünf Lagen auftreten, sollte nach etwa 30 Lagen abgeschlossen sein. Der als vorteilhaft anzusehende Bereich liegt etwa zwischen 10 und 15 Lagen. Der Versatz zur Beseitigung der Überdeckung der Kontaktflächen und der inaktiven Bereiche kann so erfolgen, dass jede Schicht gegenüber der nachfolgenden Schicht mit gleich gepolter Innenelektrode um einen vorgegebenen Winkel versetzt angeordnet wird. Es können aber auch zwei oder mehr Schichten mit gleich gepolten Innenelektroden zunächst in gleicher Anordnung übereinanderliegen, bevor ein Versatz um einen vorgegebenen Winkel erfolgt.

Möglich ist auch, den Versatz nach Abschluss eines Bereichs oder mehrerer Bereiche nicht nur in einer Richtung weiterzuführen, sondern in die entgegengesetzte Richtung wieder zurück, so dass ein wellenförmiger Verlauf der Versätze erfolgt. Die Aufbringung der Aussenelektrode gestaltet sich dadurch allerdings schwieriger.

Die Aktoren können einen kreisförmige Querschnitt aufweisen. Die Querschnittsfläche kann aber auch ein Quadrat, ein Rechteck oder ein Vieleck sein. Bei Verbindung der Kontaktflächen gleich gepolter Innenelektroden bei einem Aktor mit kreisförmigem Querschnitt und stetig verlaufendem Versatz hat die Aussenelektrode einen schraubenlinienförmigen Verlauf. Bei den übrigen Gestaltungsbeispielen kann eine Aussenelektrode über eine oder, insbesondere bei einem vieleckigen Querschnitt, über mehrere Seitenflächen verlaufen.

Zur Befestigung können die Vielschichtaktoren eine in ihrer Längsachse verlaufende durchgehende Bohrung aufweisen, wobei es vorteilhaft ist, sie noch vor dem Sintern in den weichen Grünkörper einzubringen.

Zur Herabsetzung der Spannung in den inaktiven Kopf- und Fußbereichen der Aktoren kann durch kontinuierliches Absenken der Betriebsfeldstärke der Übergang vom

OZ 01014

- 5 -

aktiven zum inaktiven Bereich gleichförmiger gestaltet werden. Das Absenken der Betriebsfeldstärke wird dadurch erreicht, dass im Kopf- und Fußbereich der Abstand der Innenelektroden von Elektrode zu Elektrode zum jeweiligen Ende des Aktors hin vergrößert wird.

- 5 Anhand eines Ausführungsbeispiels wird die Erfindung näher erläutert. Das Ausführungsbeispiel zeigt den Aufbau eines Vielschichtaktors 10 mit kreisförmigem Querschnitt und kontinuierlichem Versatz. Es zeigen:

Figur 2 die Aufsicht auf eine erfindungsgemäß gestaltete Innenelektrode,

Figur 3 Grünfolien aus piezokeramischem Werkstoff für aufeinanderfolgende Lagen  
10 des Vielschichtaktors mit mehreren Innenelektroden,

Figur 4 die Aufsicht auf die Anordnung unterschiedlich gepolter Innenelektroden  
und

Figur 5 die Seitenansicht des Aktors.

- In Figur 2 ist die erfindungsgemäße Gestaltung einer Innenelektrode 11 dargestellt.  
15 Von der kreisförmigen Querschnittsfläche 12 mit dem Radius (R) 13 ist auf einer Seite ein Kreisabschnitt mit einer Sekante 14 der Länge L abgeschnitten. Auf der gegenüberliegenden Seite ist von dem gleich großen Kreisabschnitt mit der gleich langen Sekante 15 ein von der verbliebenen Grundfläche 12 abgegrenzter zungenförmiger, nach außen weisender Kontaktbereich 16 verblieben. Da die  
20 Innenelektrode 11 eine bestimmte Dicke aufweist, ist die Sekante des Kontaktbereichs 16 mit der Breite b die Kante der Kontaktfläche 17 zum Anschluss an die Aussenelektrode.

- Figur 3 zeigt drei Grünfolien 18, 19, 20. Auf diesen sind jeweils sechs Innenelektroden 11 der erfindungsgemäßen Gestaltung aufgetragen, wobei dieses Auftragen  
25 üblicherweise im Siebdruck erfolgt. Die Belegung einer Grünfolie mit mehreren Innenelektroden ermöglicht die rationelle Herstellung mehrerer Vielschichtaktoren gleichzeitig. Die Folien werden in der erforderlichen Anzahl so übereinandergestapelt,

OZ 01014

- 6 -

dass die Innenelektroden übereinanderliegen, und dann, wegen der leichten Trennbarkeit möglichst noch im Grünzustand, um die Innenelektroden herum voneinander getrennt. Anschließend kann, ebenfalls noch im Grünzustand, die Fertigbearbeitung der Vielschichtaktoren bis auf den vorgegebenen Gründurchmesser des Vielschichtaktors erfolgen.

Die Anordnung der Innenelektroden 11 auf der jeweiligen Grünfolie 18, 19 oder 20 ist jeweils in derselben Ausrichtung. Es sind beispielsweise die erste, dritte und fünfte Folie. In der jeweils nachfolgenden Folie erfolgt erfindungsgemäß ein Versatz in der Ausrichtung der Innenelektroden, das heißt eine Drehung um ihren Mittelpunkt 21 um einen vorgegebenen Winkel 22 der Größe  $\alpha$ . Die drei Grünfolien 18, 19 und 20 zeigen also Innenelektroden der gleichen Polung.

Die Innenelektroden der gegensätzlichen Polung können in derselben Weise hergestellt werden. Dabei ist aber deren Ausrichtung gegenüber der Ausrichtung der ihnen zugeordneten Innenelektrode gegensätzlicher Polung, also auf der zweiten, vierten und sechsten Folie, jeweils um 180 Grad gedreht. Die Elektrodenlagen mit verschiedener Polarität wechseln sich alternierend ab. Eine Anordnung von gegensätzlich gepolten Innenelektroden aufeinanderfolgender Folien zeigt die Aufsicht auf einen Schnitt durch den Vielschichtaktor 10 in Figur 4. Die Kontaktfläche 17 des Pluspols liegt der Kontaktfläche 17 des Minuspols um 180 Grad gedreht gegenüber, durch die Keramikfolie 25 voneinander getrennt.

Wie bereits oben dargelegt, sollen sich nach einer vorgegebenen Höhe  $h$  (38 in Fig. 5) mindestens die Kontaktflächen 17 (b) nicht mehr überlappen, damit eine Rissbildung in den inaktiven Bereichen vermieden wird. Die Wirkung wird optimiert, wenn sich nach der kritischen Distanz  $h$  die inaktiven Bereiche der ersten und der letzten Folienlage nicht mehr überdecken. Der Winkel 22 der Größe  $\alpha$ , um den eine Innenelektrode gegenüber der nachfolgenden Elektrode mit der gleichen Polarität gedreht werden muss, berechnet sich bei vorgegebener Höhe  $h$  wie folgt:

OZ 01014

- 7 -

$\alpha = \left( \frac{h}{d} \cdot \arcsin \left( \frac{L}{R} \right) \right)$ , wobei d (23 in Fig. 5) die Gesamtdicke der piezokeramischen Schicht, der Grünfolie 25, und der Dicke der Elektrodenschicht 11 und R der Radius 13 des Vielschichtaktors ist.

Die Folien werden nach dem Aufeinanderstapeln laminiert, wobei ein Folienstapel, ein Block, mehrere Vielschichtaktoren umfassen kann. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind es aufgrund der auf den Grünfolien aufgedruckten Innenelektroden sechs. Die Aktoren werden beispielsweise mittels einer Trennvorrichtung in sechs einzelne, rechteckige Quader zerteilt. Jeder der Quader entspricht dann einem Aktor. Die Quader werden im Grünzustand so auf den gewünschten Durchmesser abgedreht, dass neben den zu kontaktierenden Flächen inaktive Bereiche zur Isolierung an der Oberfläche entstehen. Danach werden die Aktoren gesintert, wobei durch die homogene Sinterschwindung das gewünschte Endmaß erreicht wird. Im gesinterten Zustand werden die Enden planparallel geschliffen. Von der übrigen Oberfläche müssen nur die zu kontaktierenden Bereiche, die Kontaktflächen 17 zum Anschluss der Aussenelektrode 24, durch Schleifen freigelegt werden. Die Kontaktflächen 17 werden mit einer Grundmetallisierung versehen und anschließend eine Elektrode aus einem geeigneten Werkstoff, beispielsweise eine Siebelektrode aus Invar, dem Verlauf der Anschlussflächen folgend aufgelötet. Entsprechend einem weiteren Ausführungsbeispiel kann die Elektrodenschicht auch nur aus einer leitenden Schicht ohne zusätzliche Aussenelektrode bestehen.

Nach der Trennung der einzelnen Aktoren aus dem Folienstapel kann die endgültige Formgebung auch nach dem Sintern erfolgen.

Figur 5 zeigt in schematischer, stark vergrößerter Darstellung einen erfindungsgemäßen Vielschichtaktor 10 mit kreisförmigen Querschnitt und schraubenlinienförmig verlaufenden Aussenelektroden 24. Während die Aussenelektrode auf der Frontseite fast vollständig zu sehen ist, ist der Verlauf der

OZ 01014

- 8 -

Aussenelektrode, die die gegenseitig gepolten Innenelektroden 11 miteinander verbindet, nicht zu sehen und deshalb gestrichelt eingezeichnet. Zentrisch zur Längsachse 26 verläuft eine Bohrung 27 zur Befestigung des Aktors. Im Kopfbereich 28 und im Fußbereich 29 wird der Übergang zum inaktiven Bereich in Bezug auf auftretende Spannungen dadurch gleichförmig gestaltet, dass durch Vergrößern der Abstände der Innenelektroden zum jeweiligen Ende hin die Betriebsfeldstärke gesenkt wird. Der Abstand zwischen den Elektroden 30, 31, 32, und 33 am Kopf 28 vergrößert sich von Elektrode zu Elektrode zum Ende des Aktors hin. Ebenso vergrößert sich im Fußbereich 29 der Abstand zwischen den Elektroden 34, 35, 36 und 37. Durch die Vergrößerung der Abstände werden die mechanischen Spannungen auf ein größeres Bauteilvolumen verteilt und überschreiten dadurch nicht mehr die für die Rissbildung kritische Größe.

Die übrigen Innenelektroden 11 haben alle den gleichen Abstand voneinander. Die durch die Aussenelektroden 24 miteinander verbundenen Kontaktflächen und damit die inaktiven Bereiche 15 sind kontinuierlich um denselben Winkel gegeneinander versetzt. Die kritische Distanz 38 (h), nach der im vorliegenden Ausführungsbeispiel der Versatz 41 so groß ist, dass keine Überlappung der inaktiven Bereiche 15 gleich gepolter Elektroden 11 mehr vorliegt, ist nach sechs Elektrodenlagen oder Schichten 23 erreicht, wie zwischen den Elektroden 39 und 40 abzählbar ist.



OZ 01014

- 9 -

### Patentansprüche

1. Piezokeramischer Vielschichtaktor (10) mit alternierend an die Aktoroberfläche  
geführten Innenelektroden (11; 30 bis 37; 39, 40) und ihnen zugeordneten  
inaktiven Bereichen (15), wobei die gleich gepolten Innenelektroden mit ihren  
5 Kontaktflächen (17) zur Parallelschaltung an die jeweilige Aussenelektrode (24)  
angeschlossen sind und die Aussenelektroden (24) auf sich gegenüberliegenden  
Seiten des Aktors (10) angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass die  
Kontaktflächen (17) und damit die ihnen zugeordneten inaktiven Bereiche (15)  
10 einer oder einer vorgegebenen Anzahl in gleicher Richtung übereinander  
angeordneter, gleich gepolter Innenelektroden (11; 30 bis 37; 39, 40) gegenüber  
den Kontaktflächen (17) und damit den diesen zugeordneten inaktiven Bereichen  
(15) der vorhergehenden Innenelektrode oder einer vorgegebenen Anzahl gleich  
ausgerichteter vorhergehender Innenelektroden gleicher Polung um einen  
vorgegebenen Winkel (22) der Größe  $\alpha$  versetzt zueinander angeordnet sind.
- 15 2. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass nach einer vorgegebenen Höhe (38) und damit einer vorgegebenen Anzahl  
von Schichten (23), bestehend aus einer Schicht piezokeramischen Werkstoff  
(25) mit aufgebrachtener Innenelektrode (11), der Versatz (41) als ein Vielfaches  
des vorgegebenen Winkels (22) so groß ist, dass sich mindestens die  
20 Kontaktflächen (17) der ersten (39) und der letzten (40) der gleich gepolten  
Innenelektroden (11) in diesem Bereich (38) nicht mehr überlappen.
- 25 3. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass nach einem Bereich einer vorgegebenen Höhe (38) und damit einer  
vorgegebenen Anzahl von Schichten (23), bestehend aus einer Schicht  
piezokeramischen Werkstoff (25) mit aufgebrachtener Innenelektrode (11), der  
Versatz (41) als ein Vielfaches des vorgegebenen Winkels (22) so groß ist, dass  
sich die inaktiven Bereiche (15) der ersten (39) und der letzten (40) der gleich  
gepolten Innenelektroden (11) in diesem Bereich (38) nicht mehr überlappen.

OZ 01014

- 10 -

4. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Versatz (41) in einem Bereich (38) von etwa 0,5 mm bis etwa 3 mm abgeschlossen ist, entsprechend etwa 5 bis etwa 30 Lagen (23), die jeweils aus dem piezokeramischen Werkstoff (25) und der darauf aufgetragenen Innenelektrode (11) bestehen.

5. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Versatz (41) in einem Bereich (38) von etwa 1 mm bis etwa 1,5 mm abgeschlossen ist, entsprechend etwa 10 bis etwa 15 Lagen (23).

6. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Versatz (41) in einem Vielschichtaktor (10), je nach dessen Größe, mehrfach hintereinander vorgesehen ist.

7. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Versatz (41) jeweils nach Abschluss eines Bereichs oder mehrerer Bereiche (38) in die entgegengesetzte Richtung zurück geführt ist, so dass ein wellenförmiger Verlauf der Versätze erfolgt.

8. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktor (10) einen kreisförmigen Querschnitt (12) aufweist.

9. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass bei Verbindung der Kontaktflächen (17) gleich gepolter Innenelektroden (11; 30 bis 37; 39, 40) bei einem stetig verlaufenden Versatz (41) der Kontaktflächen (17) die Aussenelektroden (24) einen schraubenlinienförmigen Verlauf aufweisen.

OZ 01014

- 11 -

10. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass seine Querschnittsfläche ein Quadrat, ein Rechteck oder ein Vieleck ist.
- 5 11. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine Aussenelektrode über eine oder, insbesondere bei einem vieleckigen Querschnitt, über mehrere Seitenflächen verläuft.
12. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass er eine in seiner Längsachse (26) verlaufende durchgehende Bohrung (27) aufweist.
- 10 13. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass Sacklöcher an seinen Enden vorgesehen sind.
14. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass im Kopfbereich (28) und im Fußbereich (29) des Aktors (10) der Abstand der Innenelektroden (30 bis 33 beziehungsweise 34 bis 37) von Elektrode zu Elektrode zum jeweiligen Ende (28 beziehungsweise 29) des Aktors (10) hin vergrößert wird.
- 15 15. Piezokeramischer Vielschichtaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktor (10) Bestandteil zur Steuerung eines Einspritzventils ist.
- 20 16. Verfahren zur Herstellung eines Vielschichtaktors nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Innenelektroden gleicher Polung mit einer gleichen Ausrichtung ihrer Kontaktflächen für die Aussenelektrode jeweils auf eine Grünfolie aus einem piezokeramischen Werkstoff aufgebracht werden, dass zur Erreichung des Versatzes der Kontaktflächen die
- 25 Innenelektroden derselben Polung auf der nachfolgenden Grünfolie mit dem

OZ 01014

- 12 -

jeweiligen Versatz durch einen vorgegebenen Winkel  $\alpha$  zur Stellung der vorhergehenden Elektrode aufgebracht werden, dass die entsprechenden Innenelektroden der gegensätzlichen Polung jeweils um 180 Grad gedreht auf die Grünfolien aufgebracht werden, dass dann die Grünfolien gegensätzlicher Polung zu einem Block aufeinandergelegt werden, wobei die Kontaktflächen und damit die ihnen zugeordneten inaktiven Bereiche einer oder einer vorgegebenen Anzahl in gleicher Richtung übereinander angeordneter, gleich gepolter Innenelektroden gegenüber den Kontaktflächen und damit den diesen zugeordneten inaktiven Bereichen der vorhergehenden Innenelektrode oder einer vorgegebenen Anzahl gleich ausgerichteter vorhergehender Innenelektroden gleicher Polung um den vorgegebenen Winkel  $\alpha$  versetzt zueinander angeordnet werden und dass anschließend die Aktoren aus diesem Block herausgearbeitet werden.

17. Verfahren zur Herstellung eines Vielschichtaktors nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitung zur Formgebung eines Vielschichtaktors im Grünzustand vor dem Sintern durchgeführt wird.

18. Verfahren zur Herstellung eines Vielschichtaktors nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitung zur Formgebung eines Vielschichtaktors nach dem Sintern durchgeführt wird.

19. Verfahren zur Herstellung eines Vielschichtaktors nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Sintern des Aktors die Sinterhaut auf seiner Oberfläche belassen wird und nur die Bereiche zur Freilegung der Elektroden angeschliffen werden, an denen die Kontaktflächen der Innenelektroden mit der Aussenlektrode verbunden werden.

OZ 01014

- 13 -

### Zusammenfassung

Bei Aktoren nach dem Stand der Technik ist es bekannt, dass in dem inaktiven Bereich, der zur Kontaktierung benötigt wird, Dehnungsinhomogenitäten auftreten. Diese verursachen in dem piezoelektrisch inaktiven Elektrodenbereich Risse, die in  
5 regelmäßigen Abständen auftreten können. Durch die Dehnungsinhomogenitäten summieren sich die Spannungen in den passiv gedehnten Bereichen bis zu einer Höhe, bei der sie sich durch Rissbildung entlasten.

Erfindungsgemäß wird deshalb vorgeschlagen, dass die Kontaktflächen (17) und damit die ihnen zugeordneten inaktiven Bereiche (15) einer oder einer vorgegebenen  
10 Anzahl in gleicher Richtung übereinander angeordneter, gleich gepolter Innenelektroden (11; 30 bis 37; 39, 40) gegenüber den Kontaktflächen (17) und damit den diesen zugeordneten inaktiven Bereichen (15) der vorhergehenden Innenelektrode oder einer vorgegebenen Anzahl gleich ausgerichteter vorhergehender Innenelektroden gleicher Polung um einen vorgegebenen Winkel (22) der Größe  $\alpha$   
15 versetzt zueinander angeordnet sind.

(Figur 5)